Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng, ĐHXDHN, 2023, 17 (1V): 134–146

XÂY DỰNG HỆ THỐNG QUAN TRẮC CHUYỂN DỊCH VÀ CẢNH BÁO SỚM SỬ DỤNG KỸ THUẬT GNSS-RTK

Vũ Ngọc Quang[a,*], Nguyễn Việt Hà[b], Vũ Đình Chiều[c]

[a]*Khoa Công trình, Trường Đại học Công nghệ Giao thông Vận tải, 54 phố Triều Khúc, quận Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam*
[b]*Khoa Trắc địa bản đồ và Quản lý đất đai, Trường Đại học Mỏ-Địa chất, 18 Phố Viên, phường Đức Thắng, quận Bắc Từ Liêm, Hà Nội, Việt Nam*
[c]*Khoa Cầu Đường, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội, 55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam*

Nhận ngày 21/9/2022, Sửa xong 08/11/2022, Chấp nhận đăng 25/11/2022

Tóm tắt

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu xây hệ thống quan trắc và chương trình cảnh báo sớm thời gian thực công trình với kỹ thuật GNSS-RTK. Mục tiêu của nghiên cứu là xây dựng và vận hành được chương trình cảnh báo thời gian thực bằng đèn với giá trị đầu vào từ các trị đo GNSS-RTK đã được lọc các giá trị ngoại lai theo luật phân bố chuẩn của dãy trị đo. Thực nghiệm đã sử dụng một trạm base và một máy thu rover theo phương pháp GNSS-RTK trạm đơn ở khoảng cách 17 km, tần suất cập nhật là 10 Hz và tần suất lấy mẫu là 1 Hz. Phương pháp truyền phát số hiệu chỉnh là dùng mạng 4G, giao thức NTRIP. Chương trình cảnh báo được lập trình bằng ngôn ngữ C# với module wifi ESP8266. Kết quả của nghiên cứu là một hệ thống cảnh báo bằng đèn đã được xây dựng thành công và vận hành trơn chu. Đây cũng là kết quả bước đầu để mở rộng phương thức cảnh báo với tin nhắn điện thoại hoặc thư điện tử và xây dựng một hệ thống cảnh báo hoàn thiện với nhiều trạm rover ở các vị trí khác nhau.

Từ khoá: quan trắc; cảnh báo; GNSS-RTK; lọc ngoại lai; giao thức NTRIP.

BUILDING A DISPLACEMENT MONITORING SYSTEM AND EARLY WARNING USING GNSS-RTK TECHNIQUE

Abstract

This paper presents the research results of building a monitoring system and real-time early warning using the GNSS-RTK technique. The object of the study is to establish and operate a real-time warning program using a light with input data from GNSS-RTK observations that filtered outliers following a normal distribution. The study uses a base, a rover, the single base method at 17 km, 10 Hz sensitivity, and 1 Hz sample interval. The method of corrections transmission is the 4G network, and the NTRIP protocol. The early warning program is coded by C# language combined with an ESP8266 wifi module. The result of the study is successfully building a warning system using an alert light and operating smoothly. These are also the initial results to expand warning mode with phone messages or email and build a complete warning system for many rovers in different locations.

Keywords: monitoring; warning; GNSS-RTK; outliers filtering; NTRIP.

https://doi.org/10.31814/stce.huce(nuce)2023-17(1V)-11 © 2023 Trường Đại học Xây dựng Hà Nội (ĐHXDHN)

1. Giới thiệu

Sự phát triển của các hệ thống định vị toàn cầu, hệ thống định vị vùng làm gia tăng số lượng các chòm sao vệ tinh trên bầu trời và số lượng vệ tinh có thể lên tới hàng chục vệ tinh tại mỗi thời điểm

*Tác giả đại diện. *Địa chỉ e-mail:* quangvn@utt.edu.vn (Quang, V. N.)

[1]. Các kỹ thuật định vị mới [2, 3], kỹ thuật xử lý kết hợp các hệ định vị vệ tinh [4–7] đã làm gia tăng đáng kể độ chính xác của phương pháp định vị GNSS. Do đó, các ứng dụng của GNSS ngày càng được mở rộng trong nhiều lĩnh vực. Liên quan tới lĩnh vực quan trắc, nghiên cứu [1, 8] đã thống kê hàng loạt các công trình lớn được quan trắc bằng công nghệ GNSS bao gồm nhà cao tầng [9, 10], ống khói [11, 12], đập, các tòa tháp [13, 14] hay các cây cầu có quy mô lớn [15, 16] với các kỹ thuật đo động thời gian thực GNSS-RTK trạm đơn, đo động xử lý sau (PPK), đo động thời gian thực với hệ thống trạm tham chiếu hoạt động liên tục (Net-RTK) và phương pháp PPP [1]. Trong các hệ thống quan trắc sức khỏe kết cấu đã được triển khai, hệ thống GNSS đóng vai trò then chốt để đánh giá tình trạng an toàn của kết cấu [17–19] và quá trình vận hành, bảo trì sẽ bị ảnh hưởng nếu kết quả có chứa sai số lớn.

Ở Việt Nam, các công trình có quy mô lớn, kết cấu phức tạp đã gia tăng nhanh chóng trong những năm gần đây đặc biệt là các công trình cầu như cầu Mỹ Thuận, cầu Kiền, cầu Cần Thơ, cầu Bính, cầu Bãi Cháy, cầu Rạch Miễu, cầu Thuận Phước, cầu Cửa Đại và có nhiều cầu đã được triển khai hệ thống quan trắc kết cấu với hệ thống GNSS. Về mặt nguyên tắc, các hệ thống này có cấu trúc và phương thức vận hành tương tự nhau. Hệ thống thiết bị và các cài đặt của hệ thống có thể tham khảo trong nghiên cứu [20–22]. Nghiên cứu [23] cũng đã nhận định rằng kiểm soát các yếu tố tác động tới công trình trong suốt quá trình thi công, vận hành và bảo trì là nhiệm vụ bắt buộc của các nhà đầu tư, các nhà thầu và các ban quản lý dự án. Điều này cũng đã được cụ thể hóa trong các tiêu chuẩn hiện hành của nhà nước.

Trong các hệ thống quan trắc sức khỏe kết cấu được trình bày ở trên, có một số yếu tố được rút ra như sau:

-Phần lớn các thiết bị được triển khai bởi các hãng có lịch sử hình thành lâu đời, có thương hiệu lớn như Leica, Trimble, Septenrio.

- Hai giải pháp được sử dụng nhiều nhất bao gồm đo động thời gian thực (trạm đơn hoặc mạng lưới trạm tham chiếu hoạt động liên tục-CORS) và đo động xử lý sau. Với đo động xử lý sau, kỹ thuật này có thể cho ra độ chính xác tốt hơn nhưng có độ trễ về mặt thời gian. Ngược lại phương pháp đo động thời gian thực lại cho kết quả tức thời.

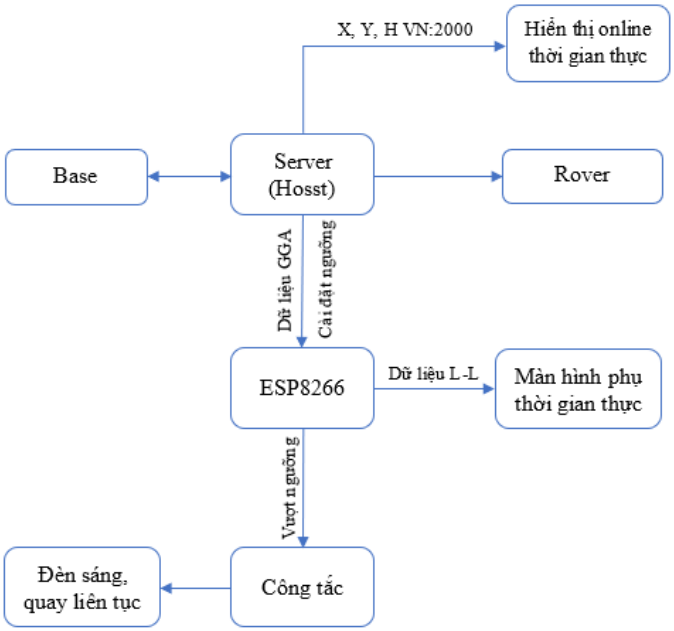
- Các gói quan trắc sức khỏe kết cấu trong đó có giải pháp GNSS chủ yếu được thực hiện bởi nhà cung cấp nước ngoài. Điều này dẫn đến sự phụ thuộc về mặt triển khai và vận hành hệ thống. Thực tế chỉ ra rằng có hệ thống quan trắc không hoạt động sau khi quá trình xây dựng được hoàn thành và đưa vào sử dụng một thời gian.

Cầu là các công trình có thiết kế không cân xứng, chịu nhiều tác động của các yếu tố ngoại cảnh. Công tác quan trắc nhằm theo dõi kịp thời các phản ứng của cầu theo thời gian là rất quan trọng. Dựa trên các kết quả quan trắc, các nhà quản lý sẽ đưa ra các chương trình vận hành và bảo trì hợp lý để đảm bảo tính an toàn của người, phương tiện và kết cấu. Trong hệ thống quan trắc sức khỏe công trình cầu, phần cảnh báo chủ yếu đang được tập trung hiển thị trên đồ thị khi vượt ngưỡng cảnh báo đưa vào và chỉ có bộ phận quản lý quan sát được. Trong các công trường đang thi công xây dựng, việc cảnh báo bằng các đèn để dễ nhận biết là có ý nghĩa thiết thực. Nghiên cứu hướng tới xây dựng hệ thống quan trắc sử dụng kỹ thuật GNSS-RTK kết hợp với đèn cảnh báo trong bối cảnh yêu cầu về công tác quan trắc ngày càng được quan tâm nhiều hơn, người dùng có nhiều lựa chọn hơn về thiết bị và nhà cung cấp. Mục tiêu là giảm sự phụ thuộc vào các đơn vị cung cấp độc quyền, tiến tới có thể chủ động ít nhất là hạng mục GNSS trong tổng thể của hệ thống quan trắc sức khỏe kết cấu.

2. Quy trình và phương pháp nghiên cứu

2.1. Quy trình thực nghiệm

Quy trình thiết lập hệ thống quan trắc và hệ thống cảnh báo được thể hiện trong Hình 1. Trong đó, tổ hợp quan trắc bao gồm 01 máy base, 01 một máy rover (số lượng base có thể nhiều hơn nếu khoảng cách base-rover lớn hoặc số điểm quan trắc thiết kế là nhiều hơn) được kết nối và truyền phát số hiệu chỉnh qua một server. Tổ hợp cảnh báo bao gồm module wifi ESP8266, công tắc và đèn cảnh báo. Toàn bộ diễn biến kết quả quan trắc của tổ hợp quan trắc được người dùng kết nối bằng tài khoản thông qua mã dự án. Kết quả cũng được cập nhật liên tục theo giời gian thực và hiển thị trên biểu đồ dao động online. Song song với đó, dữ liệu từ server được truyền liên tục về module ESP8266 để phát đi cảnh báo bằng đèn.



Hình 1. Thiết lập hệ thống quan trắc và cảnh báo

Chế độ làm việc của máy thu theo phương thức GNSS-RTK thời gian thực, giao thức NTRIP [24] với cổng, server kết nối, tài khoản và mật khẩu được cung cấp, bảo mật cho mỗi rover. Hệ thống được mô tả chi tiết như sau:

- Các hợp phần gồm có : hợp phần quan trắc và hợp phần cảnh báo.
- Phần cứng gồm có : Máy thu (gồm base và rover), server để lưu trữ số liệu, màn hình hiển thị, module wifi, công tắc và đèn cảnh báo.
- Phần mềm gồm có : Phần mềm xử lý số liệu GNSS-RTK trên server, chương trình trích xuất số liệu, hiển thị online, chương trình lọc giá trị ngoại lai.

Quy trình hoạt động được mô tả như sau:

- Cài đặt máy base phát tín hiệu theo phương thức 3G.
- Cài đặt máy rover với tài khoản, mật khẩu, địa chỉ IP, cổng kết nối. Máy base và rover kết nối truyền, nhận số hiệu chỉnh qua server.
- Số liệu RTK từ rover được truyền về server dưới định dạng GGA, file text.

- Số liệu GGA được xử lý hiển thị online dưới dạng biểu đồ thời gian thực hoặc với cả số liệu trong quá khứ.

- Số liệu GGA đồng thời được trích xuất thông qua chương trình cảnh báo để tính toán giá trị ban đầu và thiết lập ngưỡng cảnh báo.

- Khi số liệu từ rover vượt ngưỡng cảnh báo được nhập vào, đèn cảnh báo sẽ được kích hoạt nhờ module điều khiển công tắc trong chương trình cảnh báo.

2.2. Thiết bị thực nghiệm

Nghiên cứu sử dụng máy thu đa tần số, đa hệ vệ tinh của hãng CHC, Trung Quốc với module i90 (Hình 2). Các thông số kỹ thuật được cho dưới đây:

GNSS: GPS, Glonass, Galileo, Beidou, SBAS, QZSS. Độ chính xác:

Phương ngang: 8 mm + 1 ppm RMS;

Phương đứng: 15 mm + 1 ppm RMS;

Tần số cập nhật RTK: 10 Hz;

Kết nối: Bluetooth, 4G, Wifi;

Định dạng số liệu: RTCM, NMEA.

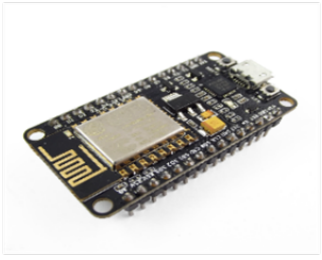
Hình 2. Máy thu GNSS CHC-i90

Eto trượt hai chiều x, y (Hình 3) là một bàn trượt cơ khí, cho phép di chuyển cấu kiện lắp đặt trên eto với khoảng cách chính xác theo từng mm bằng các tay quay theo hai hướng vuông góc. Mỗi vòng quay tương ứng với khoảng cách dịch chuyển tuyến tính là 1,25 mm. Khoảng cách dịch chuyển tối đa theo hai hướng vuông góc là 200 mm × 50 mm. Eto trượt hai chiều được sử dụng vào mục đích kiểm tra độ nhạy, độ chính xác của máy thu GNSS-RTK và dùng để thiết bị di chuyển máy thu trong mặt phẳng một cách thuận tiện và chính xác nhất. Với phương đứng, chiều cao của máy thu được nâng hạ bằng ốc cơ khí có chiều cao 30 mm.

Đèn (Hình 4) dùng cho cụm thiết bị cảnh báo tại khu vực thực nghiệm có điện áp đầu ra 12V. Đèn này thường được sử dụng trong các khu vực có nguy cơ có sự cố như công trường xây dựng, nơi có điện áp hay nhiệt độ cao. Đèn được điều khiển tự động bằng một công tắc. Mỗi khi có giá trị dao động theo các phương X, Y, Z vượt khỏi ngưỡng cảnh báo được thiết lập ban đầu, đèn cảnh báo sẽ được bật sáng và quay liên tục nhờ điều khiển từ module wifi.

Hình 3. Eto trượt 2 chiều x, y

Hình 4. Đèn cảnh báo



Hình 5. Module Wifi ESP8266

Module Wifi ESP8266 (Hình 5) nhận dữ liệu liên tục, thời gian thực từ server. Số liệu được hiển thị trên một màn hình phụ dưới định dạng tùy chọn của người dùng có thể là các yếu tố X, Y hay B,

L. Quan trọng hơn, ESP8266 sẽ điều khiển hoạt động của công tắc đối với đèn cảnh báo mỗi khi giá trị GNSS-RTK thời gian thực quan sát được vượt ngưỡng cảnh báo đưa vào ban đầu.

2.3. Phương pháp

a. Kết nối trạm base và rover

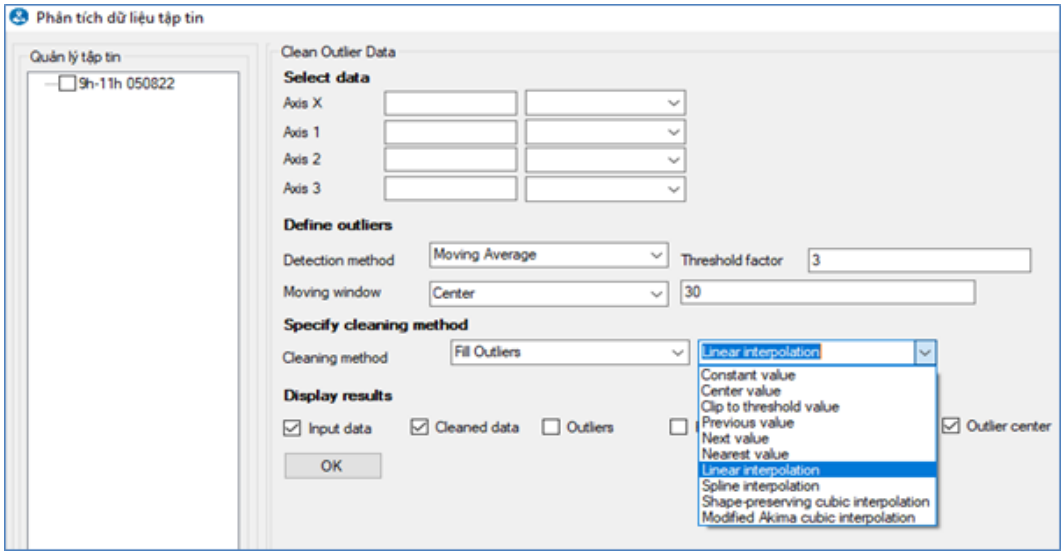
Để kết nối trạm base-rover và truyền phát số hiệu chỉnh giữa chúng, nghiên cứu sử dụng hạ tầng server sẵn có của công ty cổ phần công nghệ Nguyễn Kim. Tài khoản hoạt động của trạm base và rover được khởi tạo đồng bộ. Do phương pháp GNSS-RTK chịu ảnh hưởng đáng kể của khoảng cách giữa trạm base-rover cũng như các điều kiện khí tượng khác [25, 26], trạm base được thiết lập ở khoảng cách khoảng 17 km.

b. Kiểm tra chất lượng dãy kết quả đo GNSS-RTK

Trong chuỗi số liệu thời gian thực có thể bao gồm các thành phần chuyển dịch tuyến tính, dao động điều hòa hay chứa đựng các thành phần nhiễu (nhiễu trắng, nhiễu màu) hay các giá trị đột biến [27]. Để đưa giá trị đầu vào ban đầu khi xây dựng hệ thống quan trắc và cảnh báo thì một bộ "số liệu sạch" là yêu cầu quan trọng. Do đó, các giá trị ngoại lai cần phải được loại bỏ khỏi dãy trị đo theo các ngưỡng được đưa vào bởi một số tiêu chí và nó phụ thuộc vào độ chính xác yêu cầu, kịch bản xử lý số liệu [28]. Giá trị ngoại lai được định nghĩa là các giá trị mà khác biệt rõ ràng với phần còn lại của chuỗi số liệu [29]. Việc tồn tại giá trị ngoại lai trong chuỗi số liệu có thể dẫn đến những sai số trong tính toán và từ đó dẫn đến những đánh giá không đúng về phản ứng của kết cấu được quan trắc. Do đó, các giá trị ngoại lai cần thiết phải loại bỏ trước khi thực hiện bất kỳ một kịch bản xử lý số liệu nào. Trong nghiên cứu này, thuật toán trung bình trượt được sử dụng để lọc các giá trị ngoại lai trong thời gian đo hai giờ đồng hồ ban đầu. Thuật toán được thể hiện trong công thức (1) [30]

$$\overline{Y}_i = \frac{y_n + y_{n-1} + \ldots + y_{M-(n-1)}}{M} \quad (1)$$

trong đó n là số lượng trị đo; M là kích thước cửa sổ trượt; y_i là các kết quả đo trong dãy trị đo.



Hình 6. Giao diện chương trình

Theo công thức (1), từ một dãy trị đo ban đầu, một dãy trị đo con sẽ được tạo ra bằng cách lựa chọn kích thước cửa sổ trượt [31]. Từ tệp số liệu con được tạo ra với kích thước cửa số trượt M, tiêu chí độ lệch chuẩn được áp dụng để xác định trị đo nào là ngoại lai với ngưỡng thống kê [32]. Kết quả trung bình của dãy trị đo con được sử dụng để đưa vào làm giá trị đầu vào cho công tác quan trắc và cảnh báo. Chương trình lọc giá trị ngoại lai được viết bằng ngôn ngữ C# và có giao diện như Hình 6.

Trong chương trình này, phương pháp phát hiện giá trị ngoại lai là phương pháp trung bình trượt, phương pháp nội suy giá trị tại các điểm ngoại lai là phương pháp nội suy tuyến tính.

2.4. Kiểm tra độ nhạy của phương pháp GNSS-RTK

Như đã trình bày ở trên, phương pháp GNSS-RTK chịu ảnh hưởng đáng kể của các yếu tố khoảng cách và các yếu tố khí tượng. Do đó, sau khi lọc giá trị ngoại lai và lựa chọn được giá trị đầu vào ban đầu, cần phải kiểm tra xem khả năng phát hiện lượng dịch chuyển thực của thiết bị là bao nhiêu. Phương pháp kiểm tra được thực hiện như sau: Sau khi các giá trị đo thời gian thực trong hai giờ đồng hồ đầu tiên được trích xuất, được lọc các giá trị ngoại lai, thiết bị sẽ được di chuyển một cách nhẹ nhàng bằng các tay quay trên bàn trượt cơ khí eto hai chiều x, y (mỗi vòng quay tương đương với khoảng cách dịch chuyển là 1,25 mm). Lượng dịch chuyển được cân nhắc, tham chiếu tới các thông số kỹ thuật của máy.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết nối base-rover và hiển thị kết quả trực tuyến

Trạm base, rover được kết nối và duy trì trạng thái lời giải fix liên tục trong suốt thời gian thử nghiệm. Toàn bộ thông tin quan trắc được định dạng dưới dạng dự án và người dùng được cung cấp đường dẫn kết nối và mã dự án để truy cập (Hình 7).

Hình 7. Truy cập bằng mã dự án

Sau khi truy cập, người dùng có thể lựa chọn các điểm quan trắc (chính là các rover) để xem số liệu, hiển thị số liệu trực tuyến thời gian thực với các cài đặt tùy chỉnh về tần suất lấy mẫu, số lượng trị đo hiển thị trên biểu đồ với biểu đồ online (Hình 8).

Ngoài hiển thị, quan sát số liệu trực tuyến thời gian thực, người dùng có thể xem lại các tệp dữ liệu trong các ngày khác nhau hay tệp dữ liệu trong một ngày của thời gian trước đó cùng với biểu đồ tương ứng.

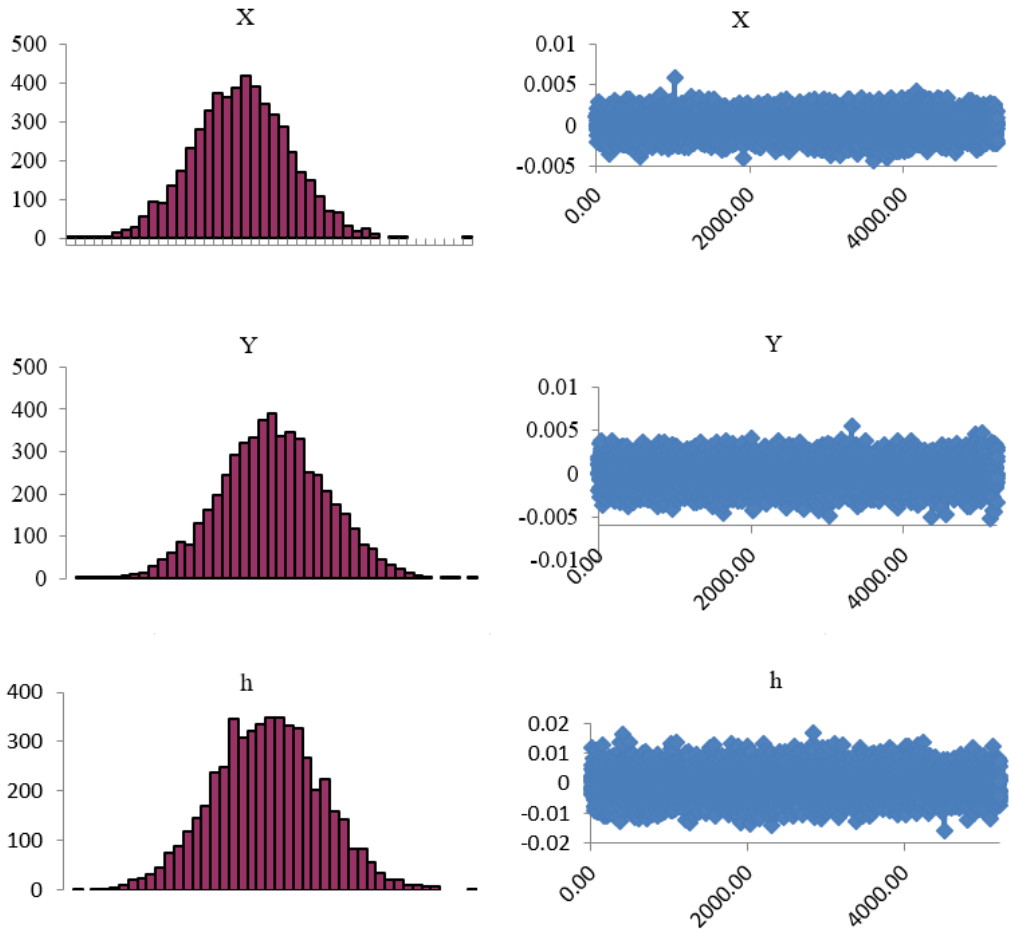
Hình 8. Đồ thị thời gian thực

3.2. Kết quả lọc ngoại lai và giá trị gốc đầu vào

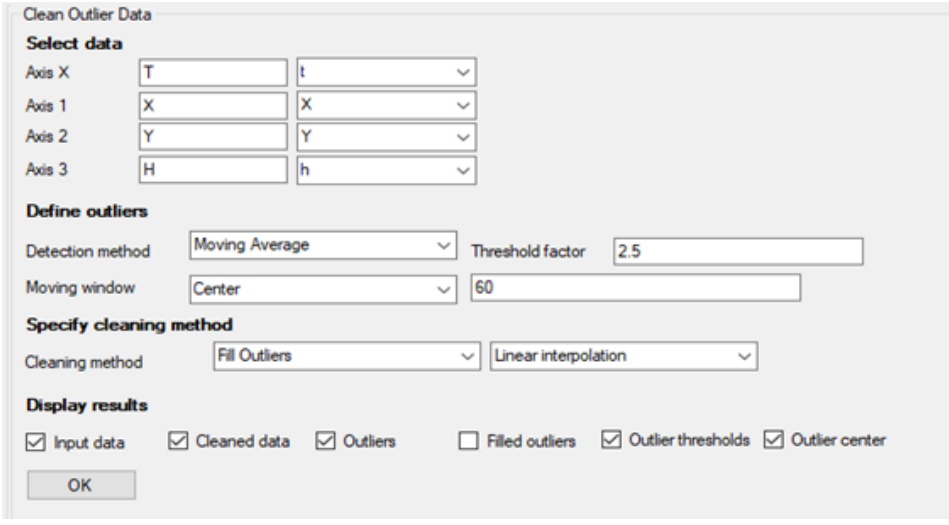
Kết quả GNSS thời gian thực trong hai giờ đồng hồ ban đầu được trích xuất ra (Bảng 1) sau đó được kiểm tra chất lượng sơ bộ (Hình 9) và cuối cùng là lọc ngoại lai với thuật toán trung bình trượt (Hình 10).

Bảng 1. Một đoạn số liệu trong 02 giờ đầu (9-11h sáng ngày 5-8-2022)

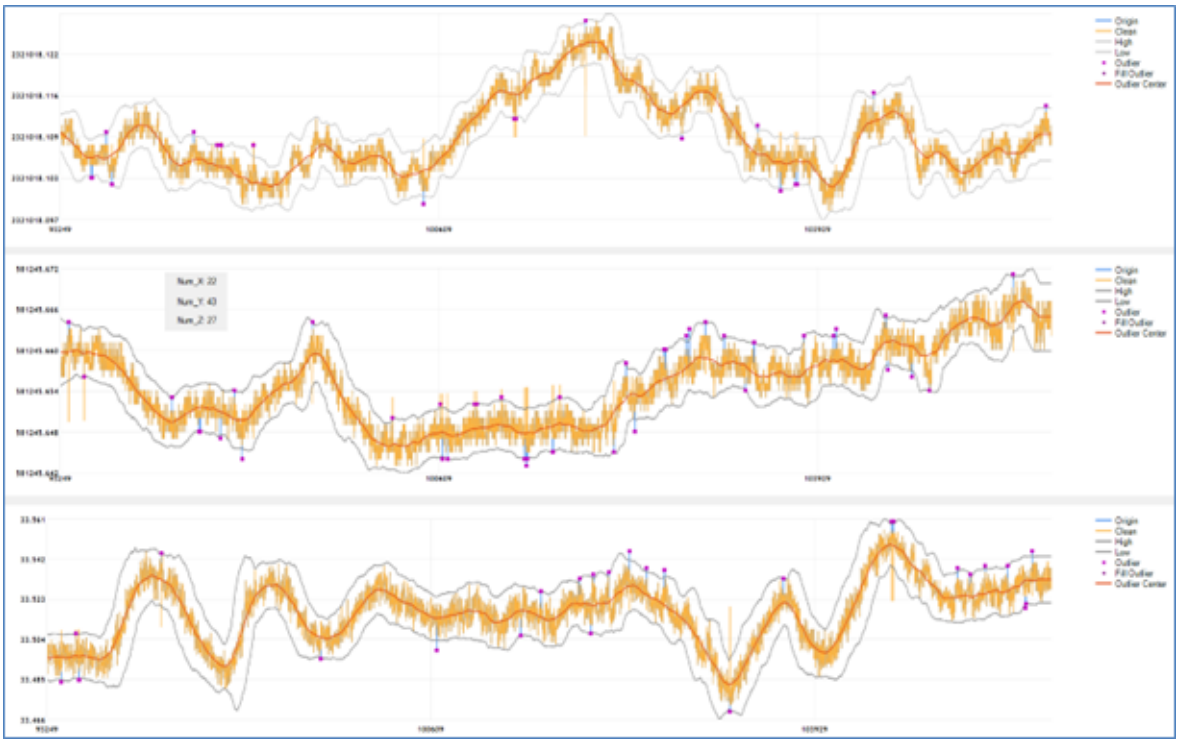
t	X	Y	h	B	L	H	Q	N
93249	2321018	581245,7	33,492	2058,843	10547	8,6190	Fixed	0,4
93250	2321018	581245,7	33,488	2058,843	10547	8,6148	Fixed	0,4
93251	2321018	581245,7	33,502	2058,843	10547	8,6285	Fixed	0,4
93252	2321018	581245,7	33,497	2058,843	10547	8,6242	Fixed	0,4
93252	2321018	581245,7	33,497	2058,843	10547	8,6242	Fixed	0,4
93253	2321018	581245,7	33,493	2058,843	10547	8,6200	Fixed	0,4
93255	2321018	581245,7	33,497	2058,843	10547	8,6234	Fixed	0,4
93255	2321018	581245,7	33,497	2058,843	10547	8,6234	Fixed	0,4
93257	2321018	581245,7	33,502	2058,843	10547	8,6289	Fixed	0,4
93258	2321018	581245,7	33,498	2058,843	10547	8,6249	Fixed	0,4
93258	2321018	581245,7	33,498	2058,843	10547	8,6249	Fixed	0,4
….	……	…….	……	……	……	……	……	……



Hình 9. Kiểm tra chất lượng qua biểu đồ mật độ phân bố và phần dư theo các phương



(a) Đầu vào lọc giá trị ngoại lai



(b) các giá trị ngoại lai

Hình 10. Lọc ngoại lai

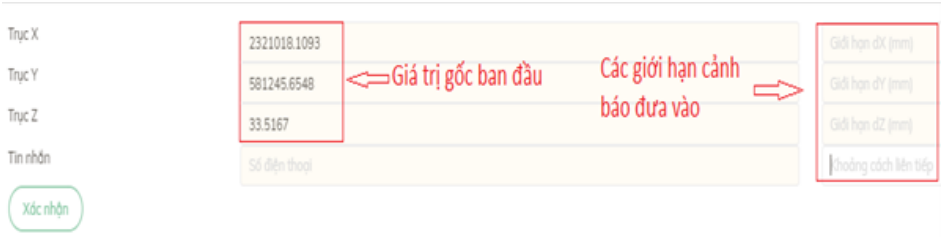
Kết thúc chương trình lọc giá trị ngoại lai, một dãy số liệu con được tạo ra nhằm tính toán giá trị trung bình để đưa vào làm giá trị gốc ban đầu cho công tác quan trắc. Kết quả so sánh giữa tệp số liệu gốc ban đầu và tệp số liệu con sau khi lọc giá trị ngoại lai với ngưỡng 2,5 và kích thước cửa số trượt là 60 (tương đương số trị đo trong vòng một phút) ở Bảng 2.

Bảng 2. So sánh giá trị trước và sau lọc

	Giá trị ban đầu			Giá trị sau lọc			Độ lệch		
	X	Y	h	X	Y	h	dx	dy	dh
Tb	2321018,1093	581245,6548	33,5167	2321018,1093	581245,6548	33,5167	0,0000	0,0000	0,0000
Max	2321018,1270	581245,6710	33,5600	2321018,1270	581245,6700	33,5560	0,0000	-0,0010	-0,0040
Min	2321018,0980	581245,6430	33,4700	2321018,0980	581245,6430	33,4730	0,0000	0,0000	0,0030

Kết quả trong Hình 10 cho thấy số lượng giá trị ngoại lai với ngưỡng 2,5 và kích thước cửa sổ 60 là 22, 43, 27 tương ứng với ba thành phần tọa độ là X, Y, h. Số lượng này tương ứng với tỉ lệ rất nhỏ là 0,42%, 0,82% và 0,52%. Điều này có được là do số lượng trị đo trong hai giờ đầu tiên là rất lớn, 5233 trị đo, giúp tăng độ tin cậy của giá trị đầu vào. Song song với đó, các giá trị độ lệch sau lọc so với ban đầu cũng rất nhỏ (Bảng 2). Giá trị độ lệch các thành phần tọa độ là không tồn tại do tỉ lệ ngoại lại quá bé so với số lượng đầu vào. Giá trị biên độ giữa giá trị lớn nhất và nhỏ nhất trước và sau cũng vì thế mà gần như không có sự thay đổi lần lượt bằng 2,9 cm, 2,8 cm và 9,0 cm tương ứng với ba thành phần tọa độ. Nếu coi giá trị trung bình là giá trị chuẩn thì độ lệch này so với thông số kỹ

thuật của thiết bị ở khoảng cách 17 km là tương đối tốt. Xét cả dấu dương và âm của các giá trị sai số thì tương ứng với các thành phần tọa độ có giá trị lần lượt là 1,45 cm, 1,40 cm và 4,5 cm. Như vậy, giá trị trung bình sau lọc sẽ được đưa vào làm giá trị gốc để theo dõi dao động của rover (Hình 11).

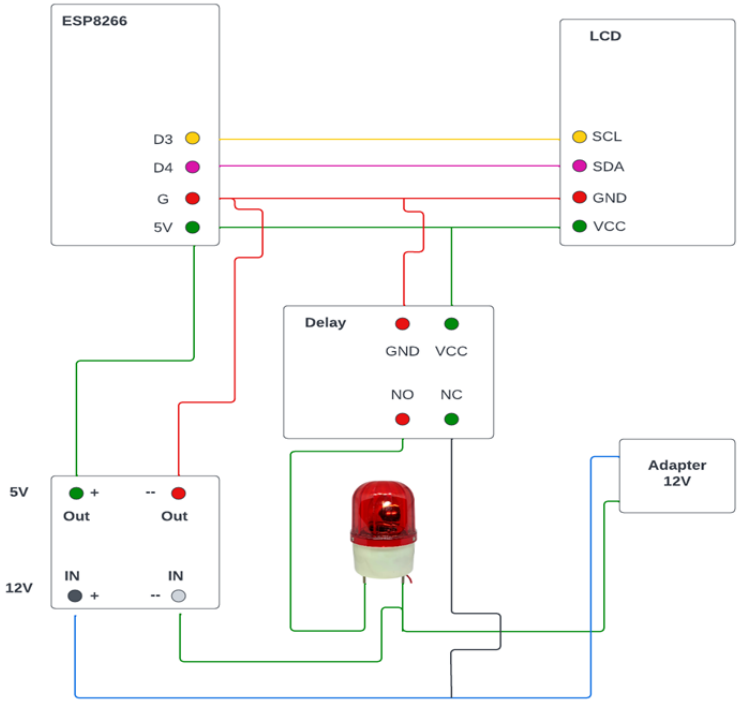


Hình 11. Cài đặt giá trị gốc và giới hạn cảnh báo trong mục "cảnh báo"

Trong các ô giới hạn dx, dy, dz tương ứng với ba thành phần tọa độ, các giá trị đưa vào được quy đổi ra đơn vị mm. Cảnh báo được đưa ra khi bất cứ một trong ba thành phần nào vượt quá giới hạn.

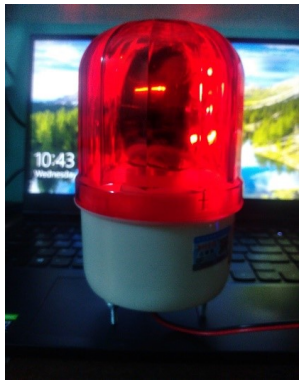
3.3. Kết quả xây dựng chương trình cảnh báo

Module cảnh báo được lập trình bằng ngôn ngữ C# với giá trị gốc ban đầu là giá trị trung bình từ dãy số liệu con được tạo ra ở phần lọc giá trị ngoại lai. Số liệu quan trắc thời gian thực được hiển thị, quan sát trực tuyến trên server cũng đồng thời được truyền về module ESP8266. Tại mỗi thời điểm quan trắc thời gian thực, chỉ cần một yếu tố vượt quá ngưỡng cảnh báo đưa vào, đèn cảnh báo sẽ sáng và quay liên tục. Sơ đồ kết nối của cụm cảnh báo được thể hiện trong Hình 12.



Hình 12. Sơ đồ kết nối

Để thử nghiệm chương trình cảnh báo, các giá trị độ lệch giới hạn được đưa vào như sau: Thứ nhất, độ lệch giới hạn đưa vào sẽ bằng một nửa giá trị biên độ tính toán được từ 5233 trị đo ban đầu tương ứng là 14,5 mm; 14,0 mm và 45,0 mm. Thứ hai, giá trị khoảng cách dịch chuyển thực trên eto cơ khí chuyên dụng lần lượt là 12 vòng quay tương ứng với 15,00 mm (1,25 mm /1 vòng quay) với dịch chuyển phương ngang và chiều dài một đoạn nối thêm bằng ốc nối chuyên dụng là 30 mm với phương đứng. Sau khi thiết lập các giá trị và chọn vào ô "xác nhận" đèn cảnh báo lập tức sáng và quay liên tục (Hình 13).



Hình 13. Đèn cảnh báo hoạt động

Thử nghiệm tiếp tục được thực hiện với bàn trượt eto theo hai phương x, y với độ lệch thực được giảm xuống còn 7,5 mm so với giá trị gốc ban đầu. Dựa theo giá trị đưa vào, đèn cảnh báo sẽ tắt liên tục. Tuy nhiên, theo dõi liên tục trong 30 phút trực tuyến vẫn có vài lần đèn cảnh báo hoạt động. Nguyên nhân được đưa ra là do khoảng cách base-rover lên tới 17 km dẫn đến một số thời điểm xuất hiện giá trị nhảy bậc hoặc ngoại lai như trình bày ở trên.

4. Kết quả và Thảo luận

Với các công trình có kiến trục mảnh, mất cân đối và có nhịp lớn như các cầu vượt sông, cầu cảng có biên độ dao động lớn do chịu ảnh hưởng của nhiều tác động khác như gió, nhiệt độ, tải trọng động, tĩnh hay các mảng trượt lở có nguy cơ dịch chuyển lớn thì phương pháp GNSS-RTK và hệ thống cảnh báo như trên là rất phù hợp.

Kết quả thực nghiệm được thực hiện ở khoảng cách 17 km là khá lớn do phương pháp GNSS-RTK trạm base đơn chịu ảnh hưởng nhiều từ yếu tố này. Do đó, cần kéo giảm khoảng cách base-rover. Kết quả đối chiếu, so sánh với lượng dịch chuyển thực là cơ sở để lựa chọn khoảng cách và đối tượng quan trắc cho phù hợp hơn với thông số kỹ thuật của máy thu GNSS-RTK.

Phương pháp GNSS-RTK đã và đang được sử dụng nhiều trong quan trắc các công trình lớn, thiết kế phức tạp. Về mặt tọa độ phẳng, kỹ thuật này đã và đang mang lại sự yên tâm cho người dùng trong khi yếu tố phương đứng chịu nhiều ảnh hưởng hơn cả. Do đó, yếu tố khoảng cách tối ưu giữa các trạm base và rover cũng cần phải được tiếp tục nghiên cứu để tăng độ tin cậy cho giải pháp cảnh báo.

Mỗi loại hình kết cấu lại có các tiêu chuẩn về quan trắc khác nhau, ngưỡng dao động khác nhau. Do đó, nghiên cứu mới đang dừng ở cảnh báo theo từng phương riêng biệt mà chưa có cảnh báo theo dịch chuyển tổng hợp trong không gian.

Nghiên cứu bước đầu sử dụng đèn làm phương thức cảnh báo để giảm chi phí viễn thông và thuận tiện cho quan sát. Các hình thức cảnh báo bằng tin nhắn thoại và hòm thư điện tử tới các chủ thể tham gia dự án sẽ được thực hiện trong thời gian tới.

5. Kết luận

Nghiên cứu đã xây dựng được giải pháp quan trắc GNSS-RTK thời gian thực theo dõi trực tuyến và hệ thống cảnh báo sớm với dòng máy thu phổ thông và các phụ kiện với chi phí hợp lý. Hệ thống cảnh báo hoạt động ổn định và có độ tin cậy khi so sánh với lượng dịch chuyển thực trên bàn trượt cơ

khí hai chiều. Nghiên cứu cũng đã xây dựng được chương trình lọc các giá trị ngoại lai với các thuật toán khác nhau theo các ngưỡng thống kê thường dùng trong trắc địa.

Kết quả lọc các giá trị ngoại lai bằng thuật toán trung bình trượt hiện mới được áp dụng để cho ra giá trị khởi tính ban đầu một cách tốt nhất. Thuật toán này có thể được áp dụng lọc các giá trị ngoại lai trong suốt quá trình quan trắc để đạt được kết quả đáng tin cậy nhất.

Lời cảm ơn

Các tác giả xin cảm ơn Công ty Cổ phần Công nghệ Nguyễn Kim đã hỗ trợ server, thiết bị và địa điểm nghiên cứu.

Tài liệu tham khảo

[1] Yu, J., Meng, X., Yan, B., Xu, B., Fan, Q., Xie, Y. (2019). Global Navigation Satellite System-based positioning technology for structural health monitoring: a review. *Structural Control and Health Monitoring*, 27(1).

[2] Cai, C., Gao, Y., Pan, L., Dai, W. (2014). An analysis on combined GPS/COMPASS data quality and its effect on single point positioning accuracy under different observing conditions. *Advances in Space Research*, 54(5):818–829.

[3] Ma, X., Yu, K., He, X., Montillet, J.-P., Li, Q. (2020). Positioning Performance Comparison Between GPS and BDS With Data Recorded at Four MGEX Stations. *IEEE Access*, 8:147422–147438.

[4] Chiều, V. Đ., Quang, V. N., Dũng, L. N., Hằng, H. T., Trọng, T. Đ. (2021). Nghiên cứu các phương án xử lý kết hợp số liệu của nhiều hệ thống định vị vệ tinh trong mạng lưới GNSS. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCNXD) - ĐHXDHN*, 15(7V):156–166.

[5] Vy, Q. H. (2014). Xử lý số liệu hỗn hợp gps/glonass. *Tạp chí Các Khoa học về Trái Đất*, 36:14–20.

[6] Xi, R., Xiaolin, M., Jiang, W., He, Q., An, X. Performance analysis of bridge monitoring with the integrated GPS , BDS and GLONASS. 15–17.

[7] Xi, R., He, Q., Meng, X. (2021). Bridge monitoring using multi-GNSS observations with high cutoff elevations: A case study. *Measurement*, 168:108303.

[8] Im, S. B., Hurlebaus, S., Kang, Y. J. (2013). Summary Review of GPS Technology for Structural Health Monitoring. *Journal of Structural Engineering*, 139(10):1653–1664.

[9] Yi, J., Zhang, J. W., Li, Q. S. (2013). Dynamic characteristics and wind-induced responses of a super-tall building during typhoons. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 121:116–130.

[10] Liu, T., Yang, B., Zhang, Q. (2017). Health Monitoring System Developed for Tianjin 117 High-Rise Building. *Journal of Aerospace Engineering*, 30(2):1–13.

[11] Breuer, P., Chmielewski, T., Górski, P., Konopka, E. (2002). Application of GPS technology to measurements of displacements of high-rise structures due to weak winds. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 90(3):223–230.

[12] Górski, P. (2017). Dynamic characteristic of tall industrial chimney estimated from GPS measurement and frequency domain decomposition. *Engineering Structures*, 148:277–292.

[13] Ni, Y. Q., Xia, Y., Liao, W. Y., Ko, J. M. (2009). Technology innovation in developing the structural health monitoring system for Guangzhou New TV Tower. *Structural Control and Health Monitoring*, 16 (1):73–98.

[14] Li, X., Ge, L., Ambikairajah, E., Rizos, C., Tamura, Y., Yoshida, A. (2006). Full-scale structural monitoring using an integrated GPS and accelerometer system. *GPS Solutions*, 10(4):233–247.

[15] Kaloop, M. R., Hu, J. W. (2016). Dynamic Performance Analysis of the Towers of a Long-Span Bridge Based on GPS Monitoring Technique. *Journal of Sensors*, 2016:1–14.

[16] Kim, K., Choi, J., Chung, J., Koo, G., Bae, I.-H., Sohn, H. (2018). Structural displacement estimation through multi-rate fusion of accelerometer and RTK-GPS displacement and velocity measurements. *Measurement*, 130:223–235.

[17] Roberts, G. W., Brown, C. J., Ogundipe, O. (2010). Monitoring Bridges by GNSS. *XXIV FIG Int. Congr. 2010 'Facing Challenges - Build. Capacit.*, 11–16.
[18] Wang, X., Zhao, Q., Xi, R., Li, C., Li, G., Li, L. (2021). Review of Bridge Structural Health Monitoring Based on GNSS: From Displacement Monitoring to Dynamic Characteristic Identification. *IEEE Access*, 9:80043–80065.
[19] Stiros, S. C. (2021). GNSS (GPS) Monitoring of Dynamic Deflections of Bridges: Structural Constraints and Metrological Limitations. *Infrastructures*, 6(2):23.
[20] Hưởng, B. H. (2014). Bố trí thiết bị quan trắc cho cầu dây văng Rạch Miễu. *Tư vấn thiết kế*, 1:33–38.
[21] Nguyen, L., Huy, H. P., Hong, T. B. (2018). Structural Health Monitoring System of the Thuan Phuoc Suspension Bridge in Viet Nam. *Int. Conf. GeoInformatics Spat. Dev. Earth Allied Sci.*, 1–13.
[22] Nam, H., Nam, L. V., Thành, N. V., Thông, M. L. (2018). Hệ quan trắc công trình cầu Cần Thơ. *Tạp chí Giao thông vận tải*, 1–11.
[23] Tùng, T. T. (2015). Thống nhất quản lý việc lắp đặt hệ thống quan trắc trong thi công và khai thác công trình. *Tạp chí điện tử, Bộ giao thông vận tải*, 1–5.
[24] Weber, G., Dettmering, D., Gebhard, H. Networked Transport of RTCM via Internet Protocol (NTRIP). *International Association of Geodesy Symposia*, Springer-Verlag, 60–64.
[25] El-Mowafy, A. (2012). Precise Real-Time Positioning Using Network RTK. *Global Navigation Satellite Systems: Signal, Theory and Applications*, InTech.
[26] Vu, N. Q., Nguyen, V. T. (2019). Single Cors - An Experiment Study with Low-Cost GNSS Receiver. *J. Sci. Eng. Res.*, 6(11):91–95.
[27] Thi, N. L., Männel, B., Jarema, M., Seemala, G. K., Heki, K., Schuh, H. (2021). Selection of an optimal algorithm for outlier detection in GNSS time series. *EGU Gen. Assem. 5194*.
[28] Charles, D. G., Paul, R. W. (2006). *Adjustment computations*. John Wiley & Sons, Inc.
[29] Blázquez-García, A., Conde, A., Mori, U., Lozano, J. A. (2021). A Review on Outlier/Anomaly Detection in Time Series Data. *ACM Computing Surveys*, 54(3):1–33.
[30] Perry, M. B. (2011). *The Weighted Moving Average Technique*. Wiley Encycl. Oper. Res. Manag. Sci.
[31] Yu, Y., Zhu, Y., Li, S., Wan, D. (2014). Time Series Outlier Detection Based on Sliding Window Prediction. *Mathematical Problems in Engineering*, 2014:1–14.
[32] Charles, D. G., Paul, R. W. F. (2015). *Elementary surveying - introduction to geomatics*.